

Kooperative Lichtsignalsteuerung auf Basis eines mikroskopischen Verkehrsflussmodells

Universitätstagung 2013

Kloster Kappel am Albis

Inhalt

- Zielsetzung
- Verkehrsflussmodell
- Regelung
- Erste Ergebnisse
- Ausblick

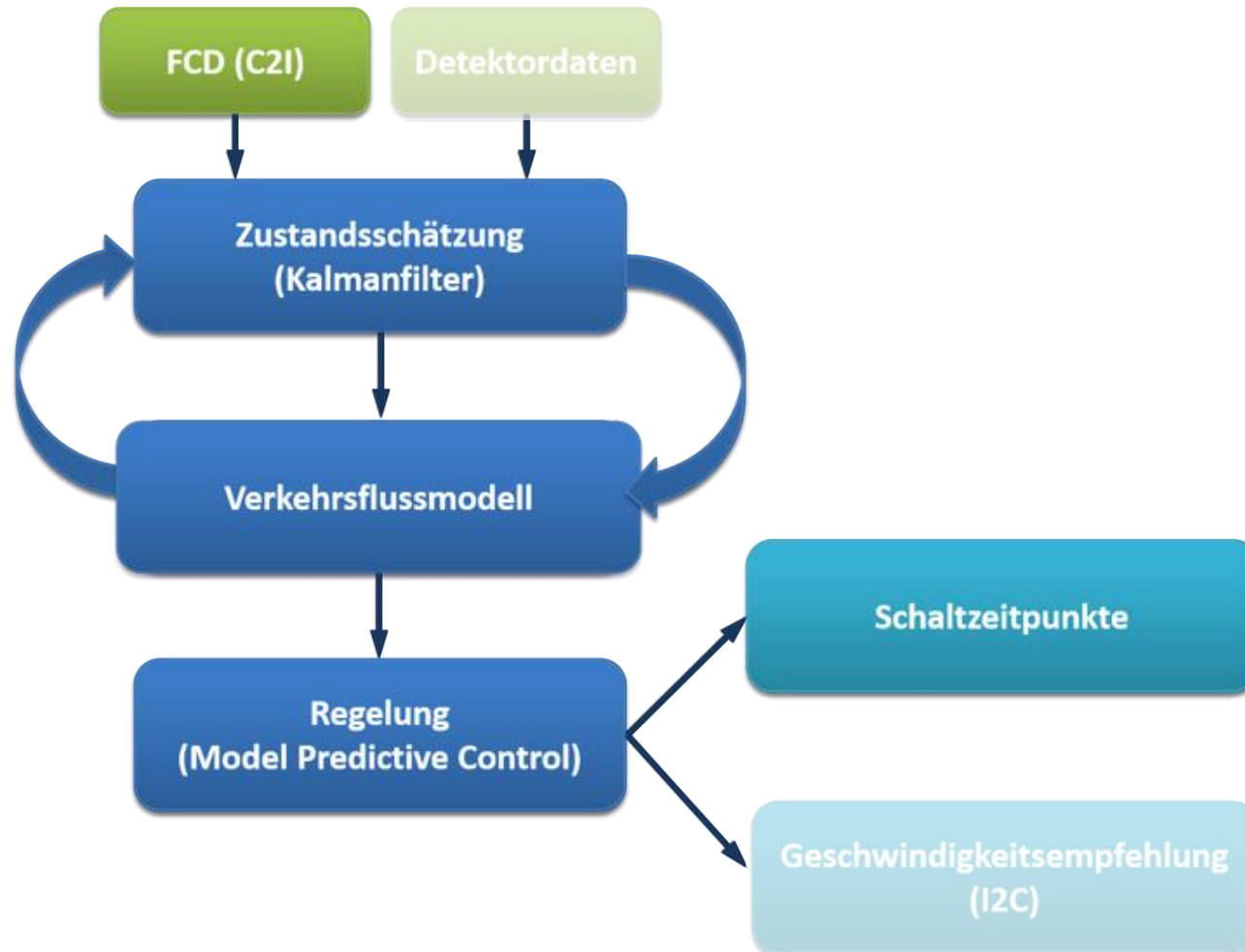
Zielsetzung

- Steigerung der **Effizienz** des innerstädtischen Verkehrsflusses
- Entwicklung einer **kooperativen Lichtsignalanlagensteuerung:**
 - Verwendung der Informationen ausgestatteter Fahrzeuge
 - Versenden von Geschwindigkeitsempfehlungen an ausgestattete Fahrzeuge
- Verwendung **regelungstechnischer** Ansätze zur:
 - Positionsbestimmung von Fahrzeugen
 - Vorhersage der Steuerung



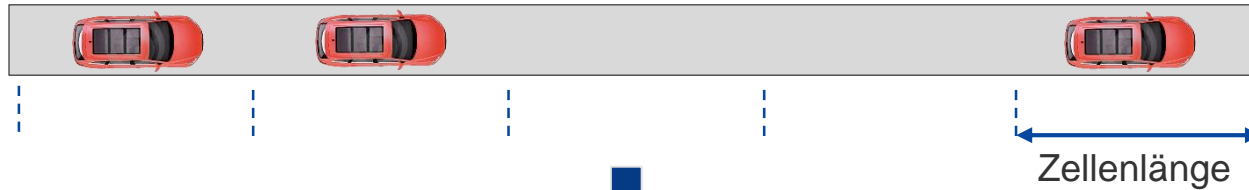
[Deutscher Verkehrssicherheitsrat]

Untersuchungsansatz



Stark vereinfachtes Verkehrsflussmodell - CTM(L) ¹

Realität:

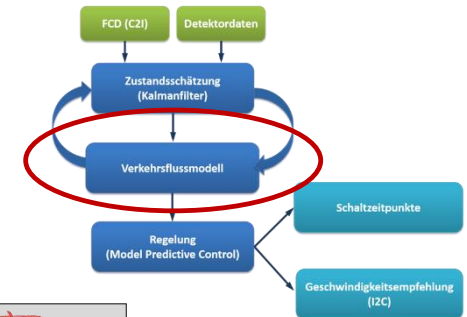


Modell:



Zustandsvektor:

$$x_k = [11001]^T$$



¹[Sun, D., Bayen, A.:Multicommodity Eulerian–Lagrangian Large-Capacity Cell Transmission Model for En Route Traffic, Journal of Guidance, Control, and Dynamics]

Verkehrsflussmodell in Zustandsraumdarstellung

$$x_{k+1} = Ax_k + Eu$$

„steuert“ auch Fahrzeuge

$$y = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

„Verschieben des Zelleninhalts um eine Zelle nach vorn“

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

„Verhindern des Verschieben des Zelleninhalts“

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 4 & 3 & 2 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

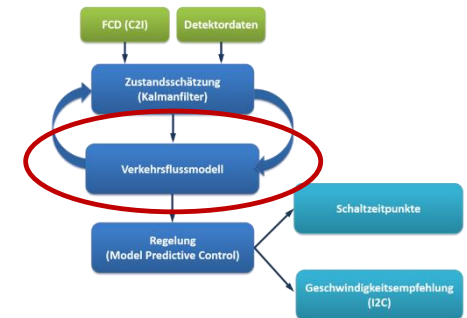
„Summierung und Gewichtung der Zellenbelegung“



konstant

Stark vereinfachtes Verkehrsflussmodell - CTM(L) ¹

- + sehr einfache Modellformulierung
- + Anwendung regelungstechnischer Algorithmen problemlos möglich (MPC, Kalman-Filter, ...)
- geringer Detailgrad (ggü. Zellularautomat oder CTM)
- großer Optimierungsvektor

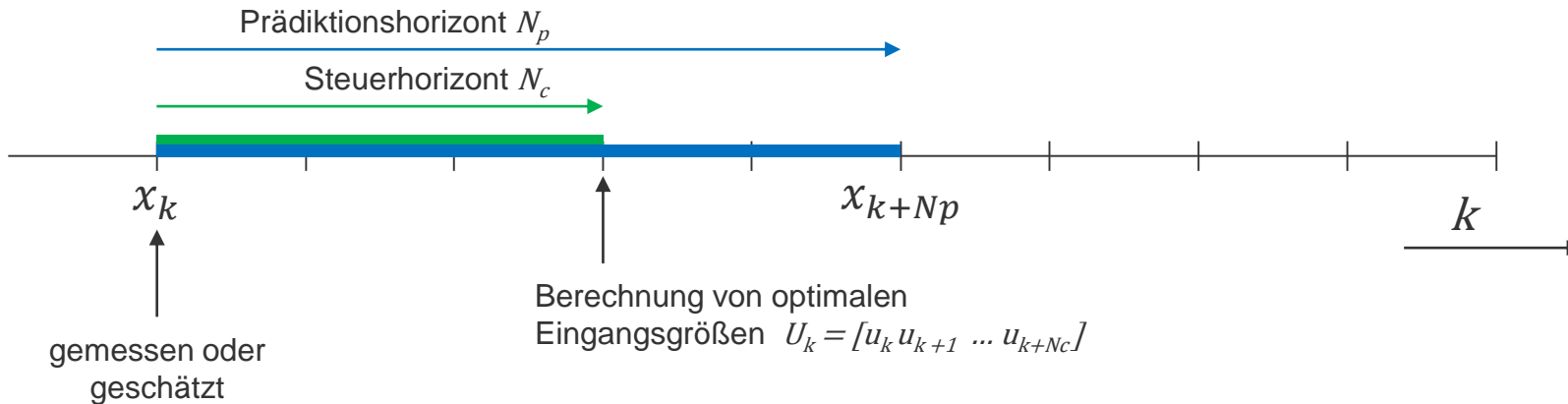
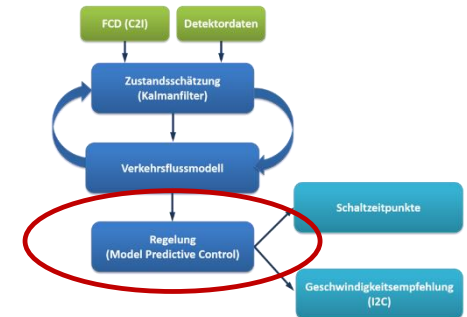


¹[Sun, D., Bayen, A.:Multicommodity Eulerian–Lagrangian Large-Capacity Cell Transmission Model for En Route Traffic, Journal of Guidance, Control, and Dynamics]

Modellprädiktive Regelung (MPC)

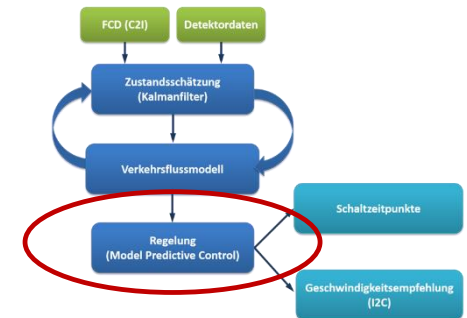
$$x_{k+1} = Ax_k + Bu$$

$$y = Cx$$



Einsatzkriterien für MPC

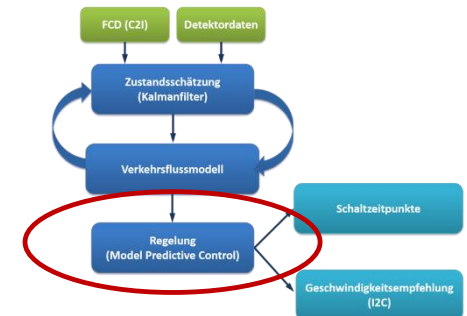
- **Optimalregelkonzept**
- Vorgabe von **Randbedingungen** wie Mindestgrünzeit oder Zwischenzeiten möglich
- Prädiktion nutzbar für **Geschwindigkeitsempfehlungen**
- Einsatz kommerzieller Solver möglich
- Hohe Wiederverwendbarkeit durch Einsatz regelungstechnischer Standards



Modellformulierung für MPC

Erweiterung der Matrizen des Zustandsraummodells:

- Vergrößerung der Matrizen auf Anzahl der Zellen
- Zusammenführen der Matrizen für Anzahl der Zufahrten
- Umformulierung der Eingangsgröße $u_k \rightarrow \Delta u_k$
- Vergrößerung der Matrizen auf gesamten Prädiktionshorizont



Zustandsraumdarstellung \longrightarrow „Extended Model“

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \quad \longrightarrow \quad x_{e,k+1} = A_e x_{e,k} + B_e \Delta u_k$$

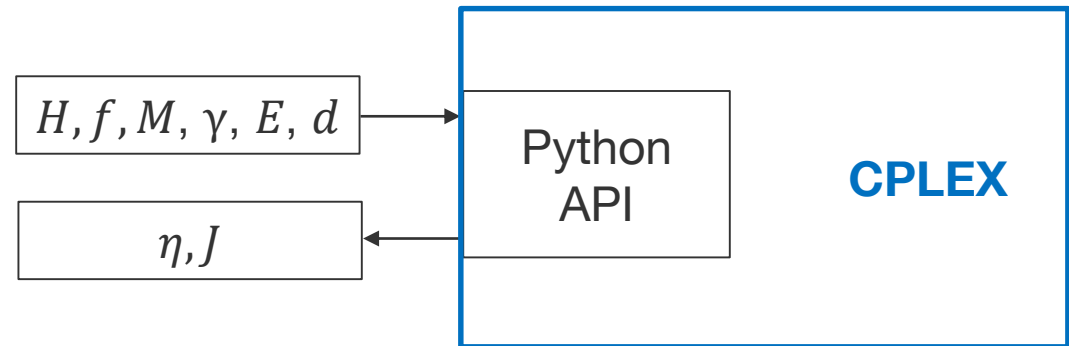
$$y = Cx \quad \longrightarrow \quad y = C_e A_e x_{e,k} + C_e B_e \Delta u_k$$

Optimierung (MIQP)

$$\min J = \frac{1}{2} \eta^T H \eta + \eta^T f$$

$$\text{u.d.N. } M\eta \leq \gamma$$

$$E\eta = d$$



Bedeutung der Variablen für MPC ($N_p = N_c = 1$):

$$H = 2(B_e^T C_e^T C_e B_e)$$

$$f = -2 B_e^T C_e^T (R_s - C_e A_e x_k)$$

$$\eta = \Delta u$$

Allgemein ($N_c \neq 1$):

$$\eta = \Delta U = [\Delta u_k \quad \Delta u_{k+1} \quad \Delta u_{k+2} \quad \Delta u_{k+3} \quad \dots \quad \Delta u_{k+N_c-1}]^T$$

Nebenbedingungen „mindestens ein Signalgeber ist rot“

$$\min J = \frac{1}{2} \Delta U^T H \Delta U + \Delta U^T f$$

$$\text{u.d.N. } M \Delta U \leq \gamma$$

$$u_{k+1}[LSA1] + u_{k+1}[LSA2] = \Delta u_1[LSA1] + u_k[LSA1] + \Delta u_1[LSA2] + u_k[LSA2] \geq 1$$

$$u_{k+2}[LSA1] + u_{k+2}[LSA2] \geq 1$$

$$\vdots$$

$$M_{diff} = - \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \boxed{\text{LSA1} \mid \text{nc}=1} & \boxed{\text{LSA2} \mid \text{nc}=1} & \boxed{\text{LSA1} \mid \text{nc}=2} & \boxed{\text{LSA2} \mid \text{nc}=2} \end{array} \\ \begin{array}{cccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots \\ \vdots & \ddots & & & & & & & & & & & & \end{bmatrix} \end{array}$$

$$\gamma_{diff} = - \begin{bmatrix} 1 - u_k[LSA1] - u_k[LSA2] \\ 1 - u_k[LSA1] - u_k[LSA2] \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Nebenbedingungen

Ungleichungen:

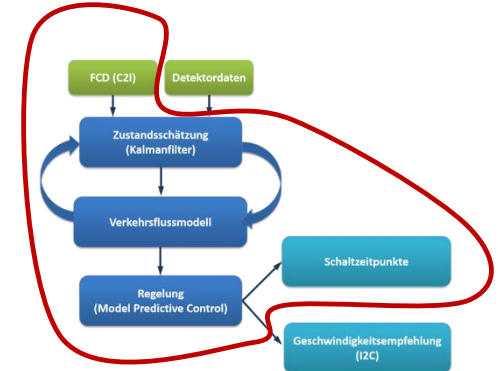
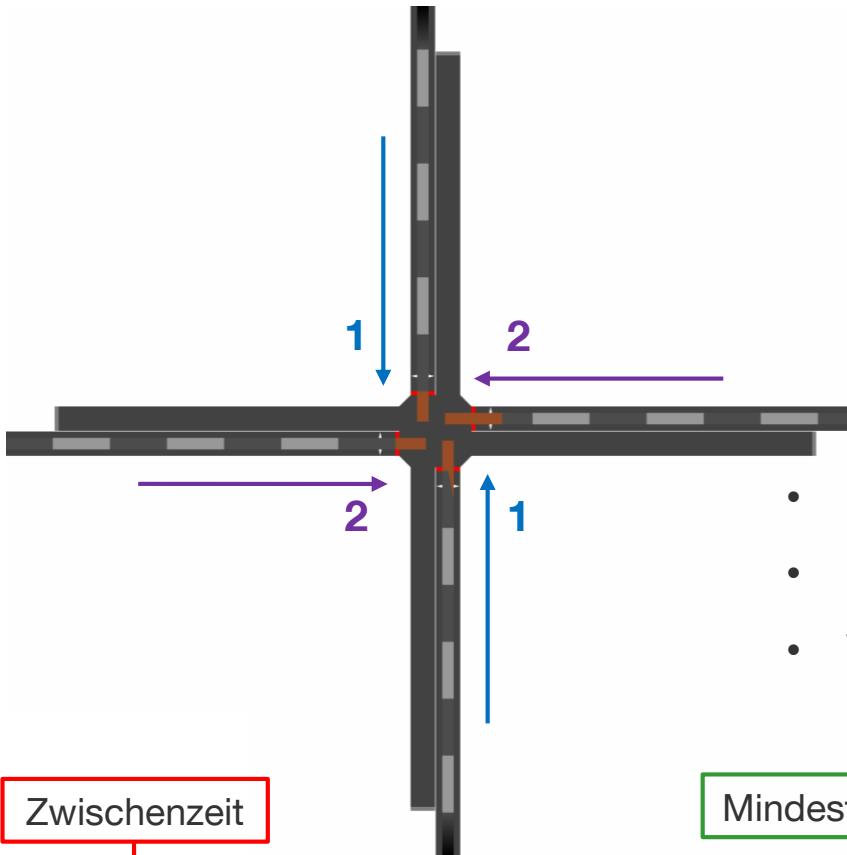
- Beschränkung des Steuersignals auf Werte zwischen 0 und 1
- Beschränkung der Zellenbelegung auf Werte zwischen 0 und 1
- Mindestens ein Signalgeber „rot“
- Mindestgrünzeit (Prädiktion)
- Zwischenzeit (Prädiktion)
- Maximale Grünzeit (Beschränkung der Umlaufzeit)

} modellbedingt
} RiLSA

Gleichungen:

- Mindestgrünzeit (Umsetzung)
- Zwischenzeit (Umsetzung)
- Festgelegte Steuerung zu Beginn

Regelung – Symmetrische, niedrige Nachfrage



- Mikrosimulation mittels SUMO
- Onlinezugriff über TraCI Schnittstelle
- Vierarmiger Knotenpunkt mit zwei unverträglichen Verkehrsströmen

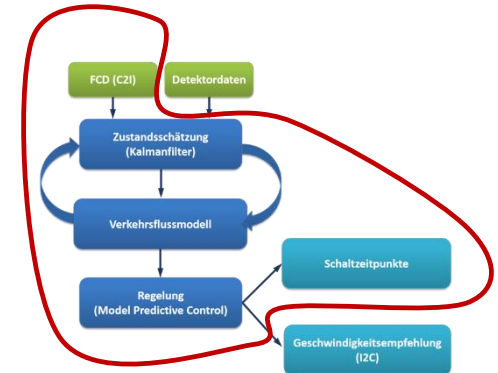
Zwischenzeit

Mindestgrünzeit



Erste Ergebnisse – Vergleich mit Festzeitsteuerung

Veränderung der Anzahl der Halte



Ausblick

- Untersuchung in kleinem **Testnetz** und **Vergleich** mit konventioneller Steuerung (z.B. Zeitlückensteuerung)
- Implementierung eines **Geschwindigkeitshinweises** (**Rückstaulänge** und **Schaltzeitprognose** durch Algorithmus „vorhanden“)
- **Komplexere Knotenpunktsgemetrien** mit mehr als zwei Phasen
- Implementierung **zusätzlicher Funktionen** (Priorisierung des ÖV...)
- Untersuchung verschiedener **Ausstattungsraten**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Dipl.-Ing. Jakob Kaths
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München

Mail: jakob.kaths@tum.de
Telefon: 089-289 28596

